

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL LEVEL DAN TEMPERATUR BOILER DENGAN METODE PID DAN KONTROL DUA POSISI

(DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR CONTROLLING BOILER WATER LEVEL AND TEMPERATURE USING PID METHOD AND ON- OFF CONTROL)

¹Reynaldo Sandy Montolalu, ²Fiky Yosef Suratman, ³Porman Pangaribuan

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jalan Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

¹reezabourdon@students.telkomuniversity.ac.id, ²fysuratman@telkomuniversity.ac.id,

³porman@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Kontrol level air dan temperatur pada *boiler* adalah komponen yang sangat penting. Ketidakstabilan pada salah satu dari komponen tersebut dapat menyebabkan kegagalan sistem, yang berakibat pada kerusakan pada *boiler*. Oleh karena itu dibutuhkan teknik kontrol otomatis untuk mengatur level air dan temperatur pada *boiler*.

Metode PID digunakan untuk mengontrol suhu pada *boiler* dengan menggunakan sensor *thermocouple* sebagai sensor suhu dengan *heater electric* sebagai aktuaternya. Teknik kontrol dua kondisi dengan skala ketinggian yang sudah ditentukan digunakan untuk mengontrol level boiler tersebut. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi level air adalah sensor konduktif dengan pompa air DC RS360SH sebagai aktuaternya. Semua aksi kontrol akan diproses di Arduino.

Hasil dari pengujian kontrol suhu didapatkan akurasi pengontrolan 99.2% dengan menggunakan *overshoot* 1% dan *settling time* 2250 detik. Kontrol dua posisi bekerja dengan baik pada level air dengan *Toff* 3967 detik dan *Ton* sebesar 78 detik pada setpoint 12 cm dan nilai minimum 8cm pada suhu 98 C.

Kata kunci : *Boiler*, PID, Arduino, *Heater Electric*, Pompa Air, *On-Off*

ABSTRAC

Control the water level and temperature in the boiler is a very important component . Instability in one of these components can cause system failure , resulting in damage to the boiler . Therefore it takes automatic control techniques to regulate the water level and temperature in the boiler .

PID method is used to control the temperature of the boiler by using a thermocouple sensor as a temperature sensor with electric heater as actuator. On –Off controller technique is used to control the boiler level . Sensors are used to detect the level of water is conductive sensor with DC water pump KF-2203 as actuator . All the action will be processed on the Arduino control .

Based on the experiment the accuration of temperature control is 99.2% by using PID paramater 1% overshoot and settling time 2250 second. On-Off controller work properly with 12 cm setpoint and 8 cm minimum point, Ton=105 s, Toff= 3956s.

Key Word : Boiler, PID, Arduino,Electric Heater, Water Pump, On-Off Controller

1. Pendahuluan

Boiler adalah bejana yang digunakan untuk menghasilkan uap air yang akan digunakan sebagai pemanas atau tenaga penggerak. Pada industri proses biasanya terdapat boiler yang dapat menghasilkan steam untuk digunakan mengalirkan panas ke suatu proses. Steam yang dihasilkan oleh boiler ini berasal dari air yang diumpan pada boiler dan kemudian dididihkan. Setelah dididihkan dalam temperatur tertentu uap siap dialirkan ke plant, seperti pemanas atau turbin. Dalam proses mengubah air menjadi uap sering terjadi kendala sehingga keluaran tidak sesuai dengan

yang dikehendaki, seperti volume air yang terlalu besar atau dibawah setpoint dan temperature yang terlalu rendah atau terlalu tinggi. Volume air dan temperatur yang tidak sesuai dengan setpoint akan menyebabkan banyak masalah seperti terjadinya overpressure dan overheat yang menyebabkan tekanan uap tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Selain itu kegagalan dalam proses pengontrolan juga dapat mengakibatkan kegagalan sistem yang bisa berakibat fatal, seperti rusaknya bejana karena air umpan yang tidak dikontrol dengan baik bahkan bisa menyebabkan terjadinya ledakan karena bejana tidak kuat menahan tekanan yang dihasilkan. Berawal dari kondisi diatas, tugas akhir ini bertujuan untuk meminimalisir sistem failure dan menjaga kondisi sistem agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan dengan menggunakan 2 teknik pengontrolan yaitu PID dan on-off. Kontrol PID digunakan untuk mengontrol suhu dan kontrol on-off digunakan untuk mengontrol ketinggian di dalam boiler.

2. Dasar Teori

2.1 Boiler

Boiler (ketel uap) adalah suatu alat yang digunakan untuk dapat menghasilkan uap bertekanan tinggi, dimana alat ini berisi air. Air di dalam *boiler* dipanaskan hingga mendidih sampai menghasilkan uap, dan uap yang dihasilkan akan berubah menjadi uap bertekanan. Uap yang dihasilkan *boiler* akan mengerakkan turbin dan diteruskan ke generator untuk membangkitkan tenaga listrik. Uap (uap air) yaitu gas yang timbul akibat perubahan fase air cair menjadi uap (gas) dengan cara pendidihan (*boiling*). Uap air tersebut dapat dimanfaatkan sebagai penggerak turbin, untuk membangkitkan tenaga listrik.

Tangki boiler yang digunakan penulis berupa tangki pressure cooker yang dirancang sedemikian rupa sehingga dapat bekerja menjadi boiler.

Komponen-komponen boiler terdiri dari :

Heater: sumber panas yang digunakan untuk menngubah air menjadi uap

Steam drum : tempat penampungan air, dimana perbandingan volume air 50:50 dengan uap

Steam Outlet : celah dimana uap keluar

Feedwater inlet: celah yang digunakan untuk mengumpan air ke steam drum.

Sensor suhu : sensor yang digunakan untuk mengukur suhu didalam boiler

Sensor level : sensor untuk mengukur ketinggian air didalam boiler

2.2 Kontroller PID

. Kontroller PID adalah suatu sistem kendali yang tersusun dari pengedali *proportional* (P), *integral* (I) dan *derivative* (D). Sistem kendali ini telah banyak diimplementasikan di proses industri karena sederhana, mudah dipelajari, dan mudah dalam penentuan nilai parameter-parameternya. Secara umum, langkah yang harus ditempuh dalam perancangan suatu desain kontrol PID adalah :

1. Menentukan persamaan matematis *plant* yang akan dikontrol
2. Menentukan spesifikasi system yang diinginkan
3. Menentukan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d

Penggabungan antara kontrol *proporsional*, *integral*, dan *derivative* pada sistem kendali PID memiliki tujuan tertentu. Kontrol proporsional yang unggul dalam *risetime* yang cepat, kontrol integral yang dapat menghilangkan error, dan kontrol *derivative* yang dapat meredam *overshoot*. Apabila digabungkan akan mendapatkan hasil pengontrolan dengan sifat menghilangkan error, mengurangi *rise time*, menambah *settling time*, dan memperkecil *overshoot*. Namun, pada kenyataannya kontrol yang dihasilkan tidak akan sempurna seperti teori. Oleh sebab itu, pada implementasi penggabungan kontrol proposional, integral dan derivative disesuaikan dengan kebutuhan dan berdasarkan tabel karakteristik berikut ini :

Tabel 2.1 Karakteristik PID

PENGUATAN	RISE TIME	OVERSHOOT	SETTLING TIME	STEADY STATE ERROR
K_p	Berkurang	Bertambah	Sedikit berubah	Berkurang
K_i	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Hilang
K_d	Sedikit berubah	Berkurang	Berkurang	Sedikit berubah

Adapun persamaan matematis masing – masing adalah sebagai berikut :

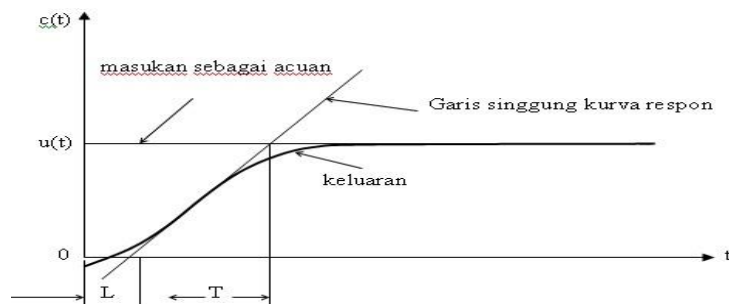
Tabel 2.2 Persamaan PID

Kp (Konstanta Proporsional)	Ki (Konstanta Integral)	Kd (Konstanta Derivative)
Dalam domain t : $K_p = \frac{y(t) - y_{setpoint}}{e(t)}$	Dalam domain t : $K_i = \frac{1}{T} \int_0^t e(t) dt$	Dalam domain t : $K_d = \frac{1}{T} \frac{dy(t)}{dt}$
Dalam domain s : $K_p = \frac{Y(s)}{E(s)}$	Dalam domain s : $K_i = \frac{Y(s)}{E(s) \cdot s}$	Dalam domain s : $K_d = \frac{Y(s)}{E(s) \cdot s^2}$

Penentuan Parameter PID

Nilai Kp, Ki, dan Kd pada PID yang akan digunakan pada suatu sistem dapat dicari dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols.

Metode Ziegler-Nichols adalah salah satu solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Berdasarkan karakteristik respon plant yang dihasilkan, nilai Kp, Ki, dan Kd dapat ditentukan tanpa mengetahui persamaan sistem. Dengan menggunakan metode ini overshoot yang terjadi maksimum 25%. Adapun langkah – langkah penggunaan metode ini adalah sebagai berikut. Menentukan nilai L dan T melalui respon unit step yang terbentuk dengan menggunakan bantuan garis singgung.

**Gambar 2.1** Grafik Metode Ziegler-Nichols

Dari nilai T dan L yang telah didapat, dapat ditentukan nilai Kp, Ti, dan Td sesuai dengan persamaan berikut :

Tabel 2.3 Penentuan Konstanta Metode Ziegler-Nichols

Tipe Kontroller	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0.9(T/L)	L/0.3	0
PID	1.2(T/L)	2L	0.5L

Kurva respon plant dalam domain s tersebut dapat direpresantisakan dalam persamaan :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{Ts + 1}$$

Sedangkan fungsi alih kontroller PID yang diaplikasikan :

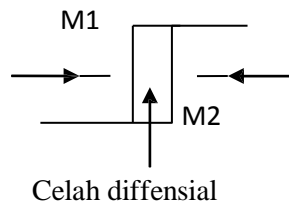
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

2.3 Kontrol Dua Posisi

Kontrol dua posisi memiliki prinsip kerja nyala-padam secara bergantian dengan waktu yang sudah ditentukan. Karena kerjanya nyala padam, maka hasil pengendalian pengendali on-off akan menyebabkan proses variabel yang bergelombang (tidak konstan). Perubahan proses variable

akan seirama dengan perubahan posisi *final control element*. Besar kecilnya fluktuasi proses variable ditentukan oleh titik dimana on dan titik dimana off. Karena karakteristik kerjanya yang hanya on dan off, pengendali jenis on-off juga sering disebut sebagai *gap controller* atau *snap controller*. Kerja pengendalian on-off, seringkali didapatkan dengan memanfaatkan *dead band* suatu proses switch.

Aksi pengendalian dari controller ini hanya mempunyai dua kedudukan, maksimum atau minimum, tergantung dari variable terkontrolnya, apakah lebih besar atau lebih kecil dari set poin.



Gambar 2.2 Kontrol dua posisi

Persamaannya :

$$m(t)=M1 \text{ jika } e<0$$

$$m(t)=M2 \text{ jika } e>0$$

$m(t)$ = sinyal keluaran controller

$M1$ = harga maksimum dari $m(\text{ON})$

$M2$ = harga maksimum dari $m(\text{OFF})$

Daerah harga sinyal kesalahan penggerak antara posisi on dan off disebut celah differensial (differential gap). Celah differensial ini menyebabkan keluaran controller $m(t)$ tetap pada harga sekarang sampai sinyal kesalahan penggerak bergeser sedikit dari harga nol. Pada beberapa kasus, celah differensial ini disebabkan oleh gesekan yang tidak diinginkan dan kelambanan gerak, meskipun demikian, sering diinginkan adanya celah differensial untuk mencegah mekanisme on-off yang terlalu sering.

2.4 KF-2203

KF-2203 adalah pompa diafragma yang menggunakan motor dc sebagai tenaga penggeraknya. Pompa ini membutuhkan tegangan 9-12 Volt untuk bekerja, dan membutuhkan arus sebesar 2 A.

Cara kerja KF-2203 ialah : saat diafragma bergerak mundur untuk menghisap masuk air. Katup masuk (inlet valve) terbuka sehingga air terhisap masuk memenuhi ruang pompa melalui saluran masuk (inlet). Pada saat bersamaan katup keluar (outlet valve) tertutup untuk menjaga air yang sudah ada di saluran keluar (outlet) tidak terhisap masuk kembali ke ruang pompa. Saat diafragma bergerak maju untuk mendorong air keluar dari ruang pompa. Pada kondisi ini katup keluar (outlet valve) terbuka sehingga air keluar dari ruang pompa menuju saluran keluar (outlet). Pada saat bersamaan katup masuk (inlet valve) tertutup untuk menjaga agar air yang ada di ruang pompa tidak kembali ke sumbernya.



Gambar 2.3 KF-2203 Pompa Air DC

2.5 Thermocouple

Thermocouple adalah salah satu jenis alat ukur temperature yang menggunakan prinsip termoelektris pada sebuah material. Alat ini tersusun atas dua konduktor listrik dari material yang berbeda yang dirangkai membentuk sebuah rangkaian listrik. Besar tegangan listrik yang terbentuk tergantung dari jenis material konduktor yang digunakan, dan besar perbedaan temperatur antara dua konduktor tersebut.

Komponen utama dari *thermocouple* adalah dua jenis logam konduktor listrik yang berbeda yang dirangkai sedemikian rupa sehingga pada saat salah satu logam terkena sumber panas, sedangkan logam yang lain temperaturnya tetap, maka rangkaian tersebut akan menghasilkan tegangan listrik tertentu yang nilainya sebanding dengan temperatur sumber panas. Sinyal yang keluar dari *thermocouple* berupa voltase mikrovolt. Maka pada rangkaian *thermocouple* diperlukan rangkaian amplifier agar sinyal keluaran dapat dibaca oleh perangkat digital.

Thermocouple Tipe K

Bahan logam konduktor positif : Nickel-Chromium

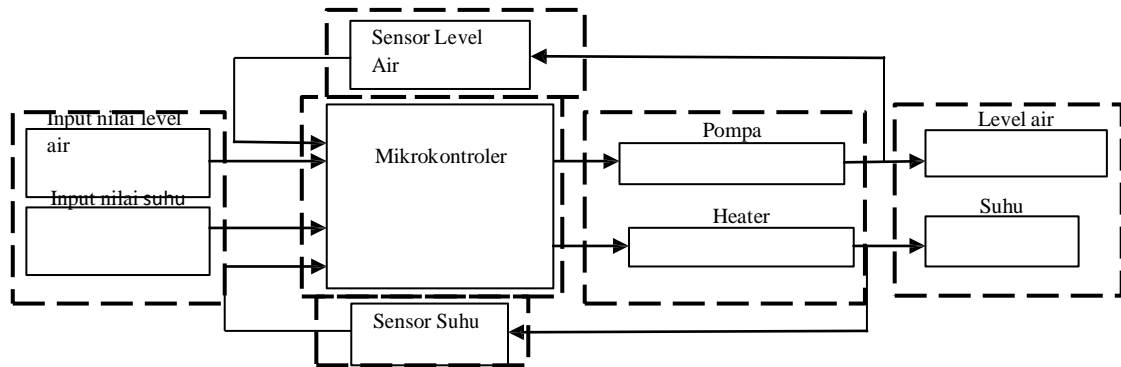
Bahan logam konduktor negatif : Constantan

Rentang Suhu : -200 C-1250C

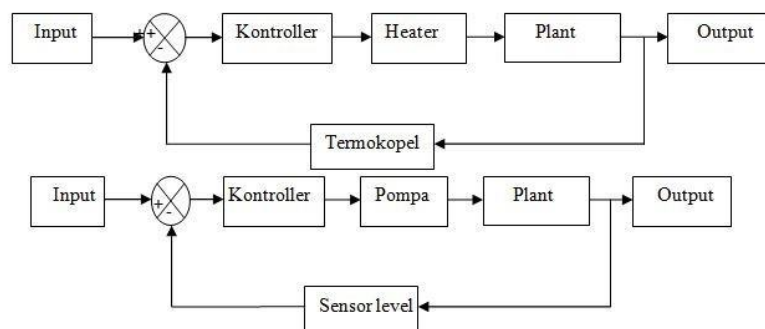
3. Perancangan Sistem

Sistem yang akan dibuat adalah sistem pengendalian suhu dan level air. Pengontrolan level dilakukan dengan cara on-off, yaitu ketika level air didalam boiler yang dibaca oleh sensor level lebih dari set point yang diberikan maka pompa akan mati, sebaliknya ketika level air belum mencapai set point maka pompa akan menyala. Pengontrolan suhu dilakukan dengan metode PID, yaitu dengan mengontrol tegangan yang ada pada heater dengan menggunakan PWM. Algoritma pemograman ditanamkan pada mikrokontroler untuk mengatur aktuatur agar sesuai dengan keluaran yang diinginkan.

Berikut adalah diagram blok dari sistem yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir :



Gambar 3.1 Diagram blok sistem



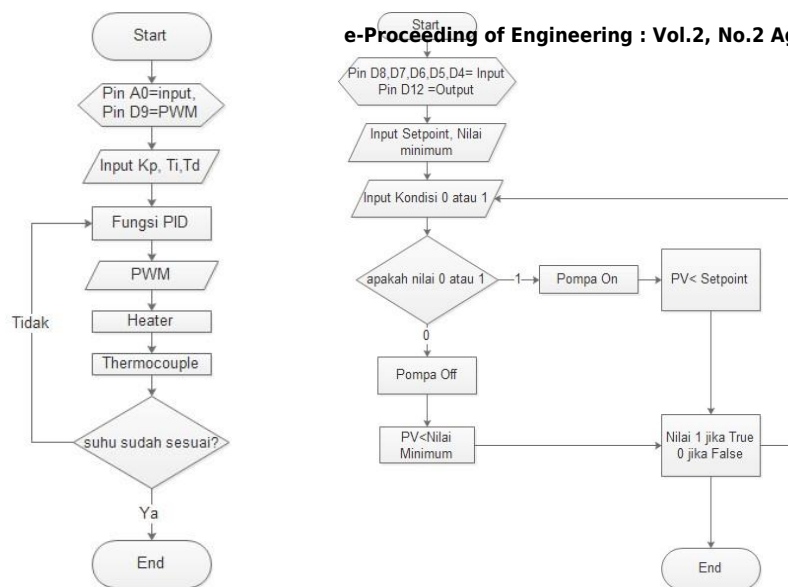
Gambar 3.2 Fungsi Blok sistem

3.2 Perancangan Program

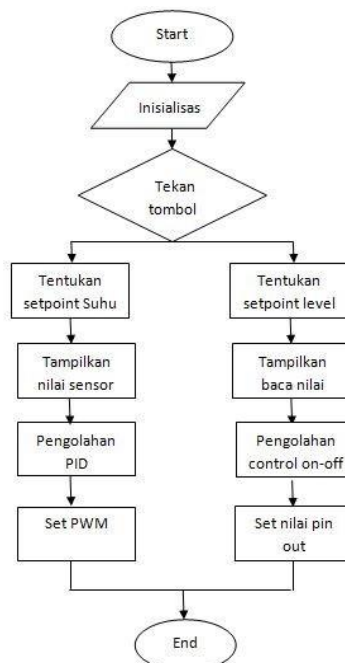
Perancangan program menggunakan software Labview sebagai pengolah data yang telah dihubungkan dengan Arduino Uno.

Algoritma control dua posisi dengan cara menentukan setpoint dan nilai minimum dimana ketika level air meyentuh setpoint maka pompa off (bernilai false) dan ketika level air kurang dari nilai minimum maka pompa akan aktif (bernilai true).

Algoritma controller PID adalah dengan cara memasukan nilai pengali Kp, Ti, dan Td yang telah menjadi fungsi matematis kemudian diolah menjadi duty cycle PWM.



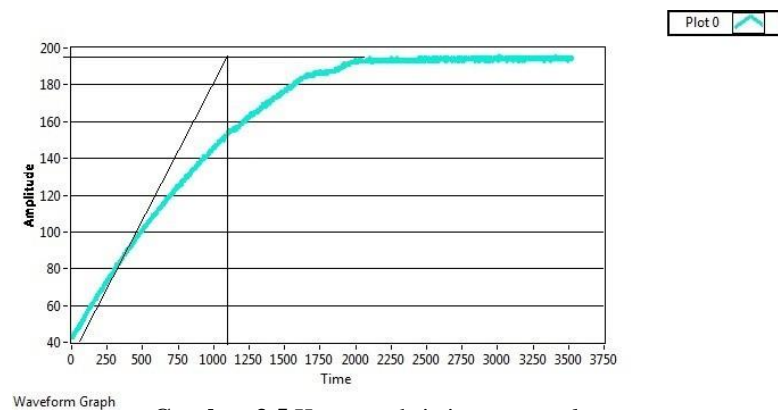
Gambar 3.3 Flow Chart PID dan Kontrol Dua Posisi



Gambar 3.4 Flow Chart Program keseluruhan

3.3 Penentuan Paramater PID

Penentuan parameter PID dengan menggunakan metode Ziegler Nichols dilakukan dengan cara menarik garis tangensial pada kurva reaksi. Berdasarkan kurva reaksi system maka didapatkan delay time (L) sebesar 65s dan time constant (T) sebesar 1028s. Berdasarkan tabel zielgle Nichols maka didapatkan $K_p=19$ $T_i=130$ $T_d=33$.



Gambar 3.5 Kurva reaksi sistem *open loop*

4.1 Pengujian Kontrol Level Air

Skenario yang dilakukan dengan cara memasukkan nilai setpoint dan nilai minimum kemudian menjalankan program. Pada saat tangki masih kosong maka pompa akan aktif sampai menuju setpoint, pada saat level air telah mencapai setpoint maka pompa akan off. Secara perlahan level air akan dikurangi, sebelum menyentuh minimum point pompa off (level air berada diantara setpoint dan minimum point setelah mencapai setpoint). Pada saat sensor mendeteksi level < nilai minimum maka pompa akan aktif kembali menuju setpoint.

Tabel 4.1 Pengujian Kontrol Level Air (Target Setpoint)

Pengujian	> Setpoint	Pompa	Keterangan
1	Level 1	Off	Ok
2	Level 2	Off	Ok
3	Level 3	Off	Ok
4	Level 4	Off	Ok
5	Level 5	Off	ok

Tabel 4.2 Pengujian Kontrol Level Air (Target Minimum)

Pengujian	< Minimum	Pompa	Keterangan
1	Level 1	On	Ok
2	Level 2	On	Ok
3	Level 3	On	Ok
4	Level 4	On	Ok

4.2 Pengujian Kontrol Suhu

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan suhu yang sesuai dengan setpoint dengan menggunakan controller PID. Parameter komponen P,I, dan D ditentukan dengan metode ziegler-nichols dengan menentukan nilai dead time dan delay pada kurva reaksi

Hasil pengujian kontrol suhu dengan menggunakan pid adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Kontrol Suhu Air

Percobaan	Setpoint	Level	Measured Value	Overshoot
1	100	4	99.68	1%
2	101	4	101.2	1%
3	102	4	101.8	1%
4	103	4	102.6	1%
5	104	4	103.8	1%

Tabel 4.10 Pengujian Keseluruhan

No	Suhu Awal	Setpoint Suhu	Level Awal	Setpoint Level	Minimum Point	Waktu Pompt		Suhu yang dicapai	Settling Time	Overshoot
						Ton	Toff			
1	25	100	0	12cm	8 cm	50	3923	99.6	2250	101
2	25	101	0	12cm	8cm	50		100.2	2408	101.2
3	25	102	0	12cm	8cm	50		101.6	2550	102.2
4	25	103	0	12cm	8cm	52		102.2	2660	103.2
5	25	104	0	12cm	8cm	50		103.2	2792	104.6
6	25	105	0	12cm	8cm	48		104.6	2900	105.6

Berdasarkan tabel 4.10 maka didapatkan bahwa dengan menggunakan parameter PID $K_p=19, T_i=120, T_d=23$, didapatkan hasil dengan akurasi 99.2% dengan overshoot 1% ,dengan level air 12cm maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stabil dari suhu 25 ke 100 derajat dibutuhkan waktu 37 menit.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa seluruh bagian dari perancangan dan bangun control suhu dan temperaatur pada boiler dapat disimpulkan :

- Alat dapat mengontrol suhu dan level air sesuai dengan tujuan.
- Sensor suhu (thermocouple type K) yang dihungkan dengan AD595 sebagai penguat mempunyai akurasi 98%.
- Akurasi kontrol suhu mencapai 99% dengan parameter P, I dan D
- Kontrol level air dengan metode control dua posisi bekerja dengan baik.

6. Daftar Pustaka

- [1] Heri.2013..<http://heri949.blogspot.com/2013/12/ketel-uap.html> (diakses pada 12 September 2014)
- [2] Ogata, Katsuhiko, 1997, *Teknik Kontrol Automatik* Jilid 1. Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
Kurnia, Albert. Angelina, Friska..
- [3] Kadir, Abdul,2012,*Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroller dan -- Pemogramannya menggunakan Arduino*. Andi, Yogyakarta